

EVALUACIÓN DE UN ADITIVO DE NANOPARTÍCULAS COMO SUSTITUCIÓN DEL 35% DE SÍLICE EN LAS LECHADAS, Y COMO COMPONENTE DE LECHADAS EN AMBIENTES CRÍTICOS DE ALTA TEMPERATURA Y PRESIÓN.

Miguel Ferrada Gutiérrez

Cognoscible Technologies. S.A. Oil & Gas Unit.

Sinopsis

Nanotecnología ha venido desarrollando productos y aplicaciones en diversas áreas, de las que la cementación para pozos es una de las más recientes.

Durante la vida productiva del pozo, los cambios de temperatura y presión causan movimientos en las lechadas que deben ser adecuadamente previstos para alargar su vida útil.

Esta previsión da como resultado diseñar lechadas de alta flexibilidad y resistencia al impacto para soportar esos movimientos.

Las formulaciones usadas hasta ahora suelen utilizar 35% de sílice, cuya sustitución por nanopartículas del mismo material fue evaluada en este trabajo.

Se probaron aditivos hechos con nanotecnología diseñados para reemplazar al 35% de sílice y darle a la lechada propiedades emergentes adicionales de resistencia y flexibilidad.

Los resultados muestra que 0.2% de nanosilice permite eliminar en algunos casos un 20% de sílice y en otros al 35% de sílice requerida para lechadas entre 16 y 18 LPG, obteniendo resistencias de 47MPa a 24 horas y 76 MPa a 3 días.

Introducción

Primera parte: Nanotecnología

La nanotecnología fue presentada por primera vez en 1959 por Richard Feynmann en Caltech, quien mostró que no había nada en la física que prohibiera hacer estructuras del tamaño de átomos.

Cerca de 30 años después, los primeros nanoproduitos comenzaron a aparecer cambiando el paradigma de lo que era posible lograr con los materiales.

Plásticos, pinturas, papeles, productos químicos, concreto y petróleo vieron poco a poco surgir nuevas propiedades y comportamientos como altas y extremas: resistencias, flexibilidades, tensiones, conductividades, rendimientos, adherencias y repelencias¹.

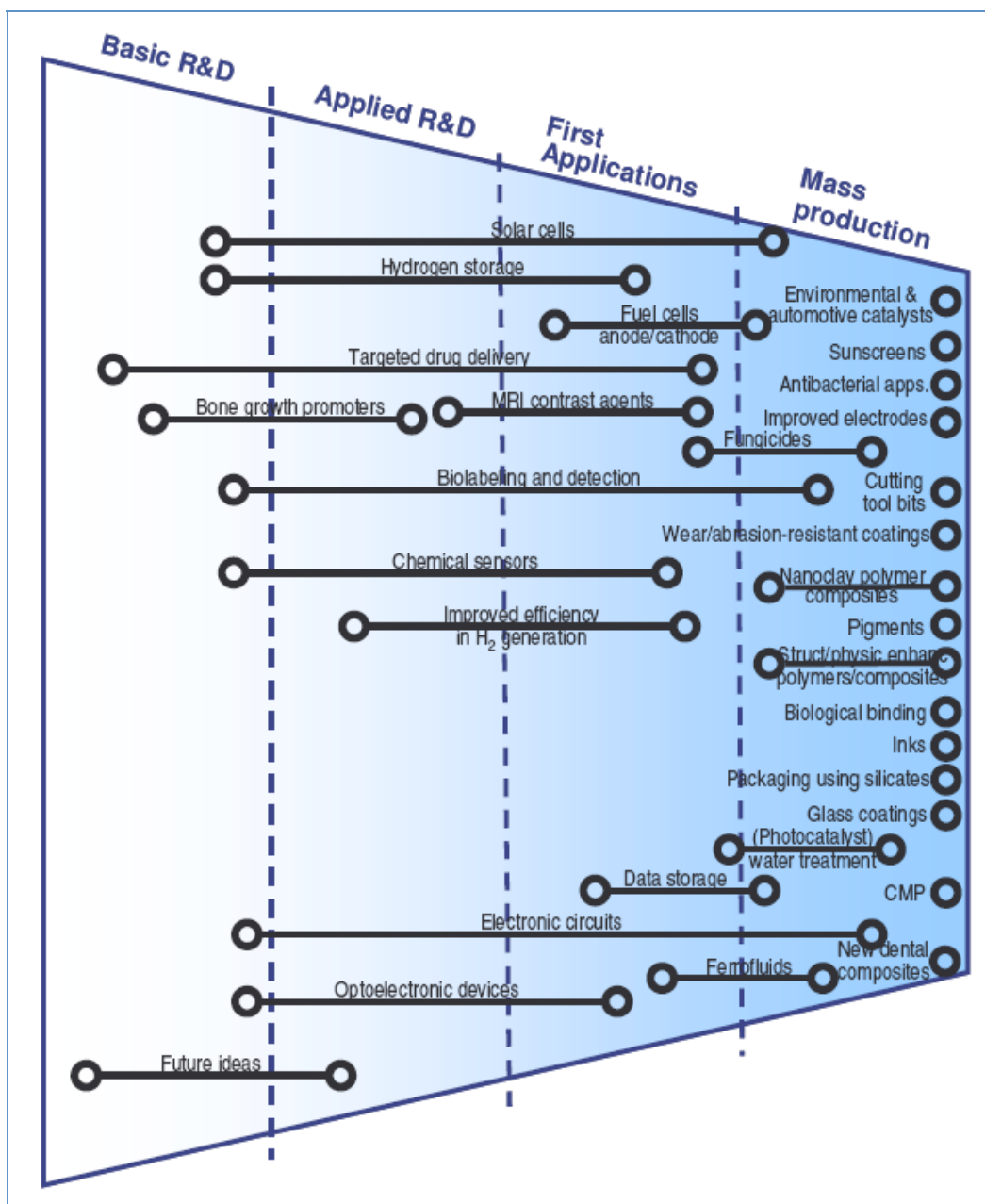


Figura 1: Algunas de las aplicaciones de nanomateriales actuales y proyectadas al 2015

Estas propiedades y comportamientos son causados por nanomateriales bien formulados y bien diseñados por tres principales razones:

- I. Aumento del área superficial de las partículas.
- II. Reducción de las fuerzas dentro de las partículas (intrapartículas) y consiguiente aumento de las fuerzas entre las partículas (interpartículas).
- III. Aparición de propiedades emergentes entre las nanopartículas y su entorno físico y químico.

I. Aumento del área superficial:

Que aumente el área superficial de las partículas, significa que hay más superficie disponible para reaccionar tanto en forma física como química. De la tabla 1 puede apreciarse que a medida que el tamaño de las partículas crece, la cantidad de átomos disponibles para reaccionar en la superficie es cada vez menor y el tiempo que demore la reacción química será cada vez más grande.

Ejemplo de reacción química: Hidratación del cemento.

(Ecuación 1)

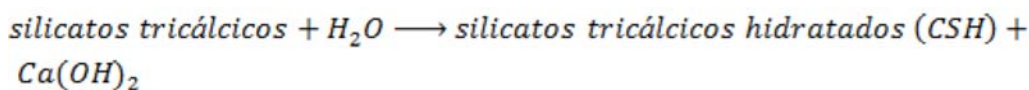


Tabla 1: tamaño de partícula y superficie disponible para reaccionar

tamaño de la nanopartícula [η mt]	número total de átomos	número de átomos en la superficie	porcentaje de átomos en la superficie
1.13	94	48	51.1
1.7	279	108	38.7
2.26	620	192	31.0
2.83	1165	300	25.8
3.39	1962	432	22.0
5.65	8630	1200	13.9
8.48	2.84×10^{104}	2700	9.5
14.1	1.29×10^{105}	7500	5.8
28.3	1.02×10^{106}	3.0×10^{104}	2.9
56.5	8.06×10^{106}	1.2×10^{105}	1.5

II. Reducción de las fuerzas intrapartículas y aumento de las fuerzas interpartículas:

Al haber menos átomos en el interior de una nanopartícula, esta tiene una menor fuerza de cohesión y presenta menos resistencia a su desintegración.

Ej, disminución del punto de fusión del oro con el tamaño de la partícula.

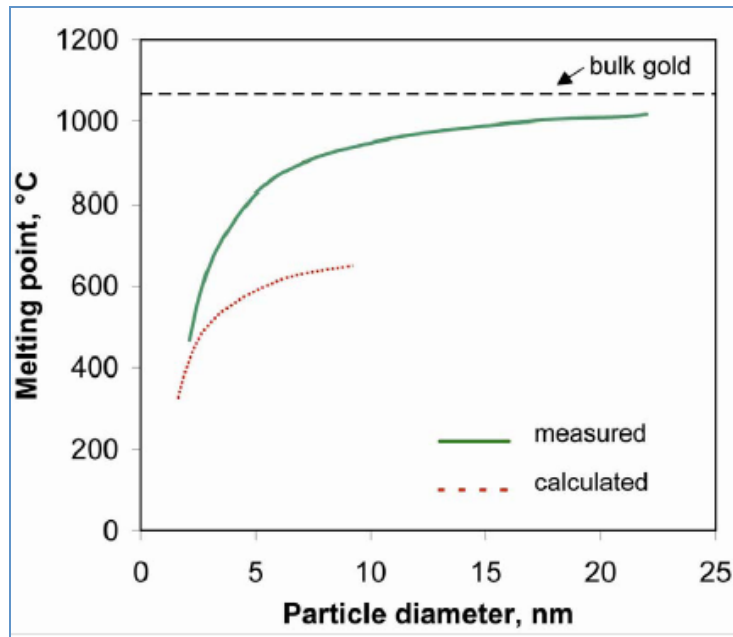


Figura 2: disminución del punto de fusión del oro con el tamaño de la partícula. Al tener menos átomos en su interior, las partículas más pequeñas requieren menor energía para su fusión.

III. **Propiedades emergentes:**

Al haber menos resistencia a desintegrarse, las fuerzas de orden cuántico (picotecnología) empiezan a hacerse notar y producen propiedades emergentes resultantes de la interacción entre los átomos de las partículas y las moléculas que los rodean.



Figura 3; Ferrofluido: Líquido magnético formado por una suspensión estable de nanopartículas magnéticas en un solvente

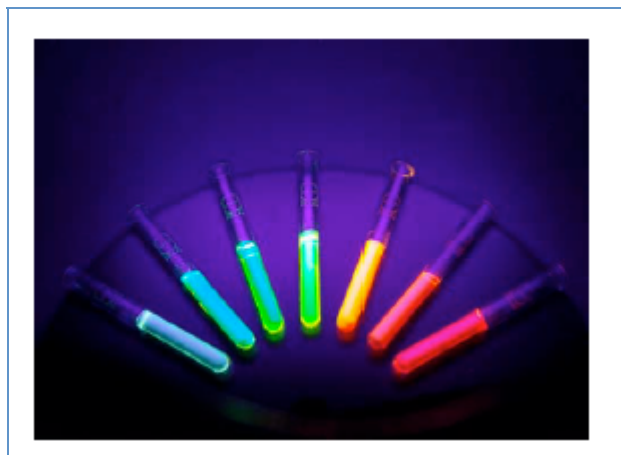


Figura 4: nanopartículas de CdSe de diferentes nanómetros de diámetro que producen distintas fluorescencias al UV.

Introducción. Segunda parte: Aplicación de nanotecnología a la cementación de pozos.

La cementación de un pozo petrolero consiste en cementar la tubería dejada en el hueco perforado para que el pozo sea estable en el tiempo y sea capaz de resistir las altas temperaturas y presiones de usualmente 2,000 metros en el interior de la tierra.

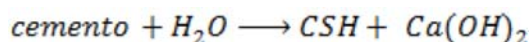
Para esto, se debe tener:

- Una estructura tridimensional lo más homogénea y compacta posible para evitar grietas y huecos por donde puedan introducirse sustancias químicas no deseadas.
- Suficientemente plástica para resistir los cambios de volumen que pueda experimentar. Y al mismo tiempo suficientemente rígida para resistir las presiones.
- Capaz de alcanzar los valores exigidos de plasticidad, rigidez y homogeneidad en el mínimo tiempo posible para contribuir a tener listo el pozo cuanto antes.

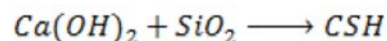
Para alcanzar estas características, en algunos países se exige un 35% de sílice en peso del cemento. La sílice (humo de sílice o microsílice) es un material en polvo mil veces más fino que el humo del cigarrillo. Esto hace que presenta las propiedades nocivas para el medio ambiente y la salud de sus operadores propias de todo material particulado.

La sílice reacciona químicamente con el hidróxido de calcio que produce el cemento en su hidratación produciendo silicato tricálcico hidratado, lo que refuerza la estructura 3D de la cementación.

(Ecuación 1)



(Ecuación 2)



De la física y la química que hay detrás de nanotecnología, se dedujo que una forma de ayudar a una buena cementación es con un Nanocemento diseñado para cumplir las tres características anterioresⁱⁱ.

Un Nanocemento bien diseñado y formulado es capaz de evitar la presencia de microgrietas y agujeros, evita la migración de gas cuando este está presente a través de su impermeabilidad, proporciona una compactabilidad y homogeneidad tridimensional no lograda antes a nivel de nanómetros, y es capaz de producir tiempos de fraguado en tiempos tan cortos de horas o tan largos como días, según sea el requerimiento del usuario del pozo.

Otra forma de cumplir estas características es a través de una nanosílice que ayude al cemento común a cumplir esas condiciones.

De la ecuación 2 se ve por qué una nanosílice bien diseñada y bien formulada, será capaz de producir Nanocemento:



Desarrollo

Se diseñó una nanosílice con propiedades emergentes que cumpliera el objetivo de la ecuación 3 y ayudara a cumplir las características de una buena cementación.

La nanosílice se desarrolló en estado líquido para eliminar los problemas de contaminación por material particulado y hacer más fácil la logística para los operadores durante la preparación de la mezcla.

Se probó en ensayos de cementación de laboratorio y fue usada en cementaciones de pozos a densidades entre 16 y 18 LPG. En estas últimas, se tomó una muestra momentos antes de ser bombeada al pozo y se midieron sus propiedades en el laboratorio.

Se presentan datos de 16.6, 16.8, 17.4 y 17.5 LPG con diferentes composiciones de lechada mostrando distintos comportamientos.

Desarrollo. Primera parte: Comparación de resistencias a la compresión

Gráfico 1: Ejemplo de medición de laboratorio de cemento puro sin aditivos a 16.6 LPG

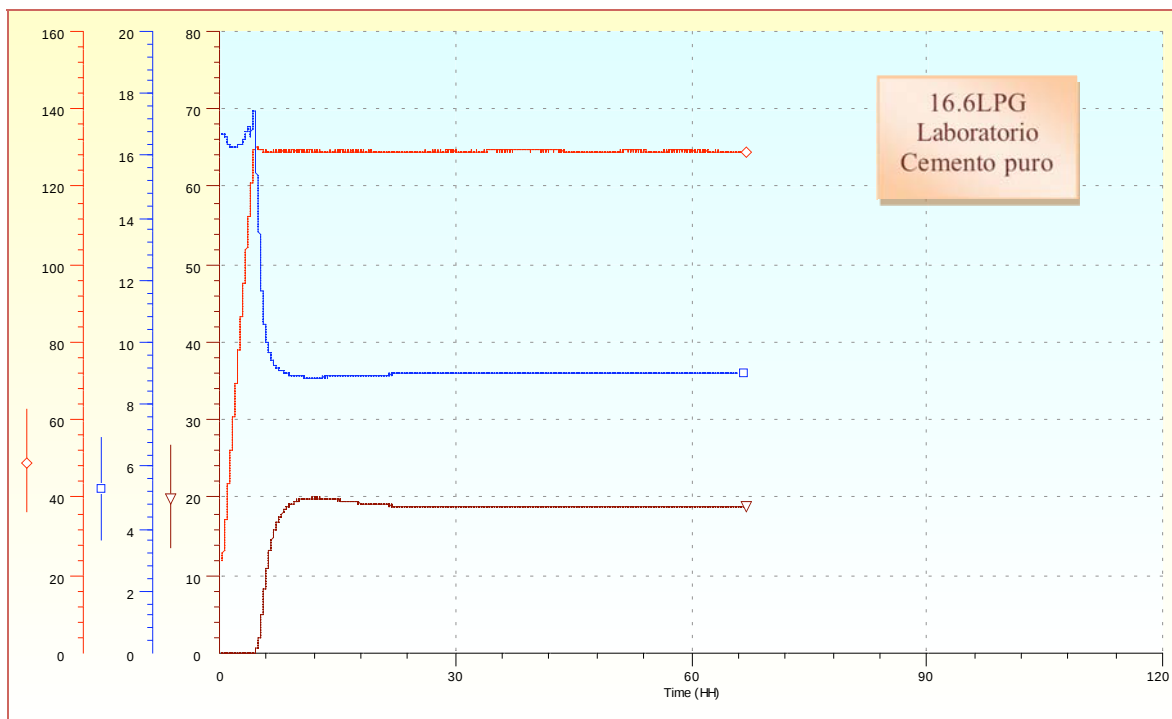


Gráfico 2: Ejemplo de medición de laboratorio de lechada de alta resistencia a 16 LPG (35% de sílice)

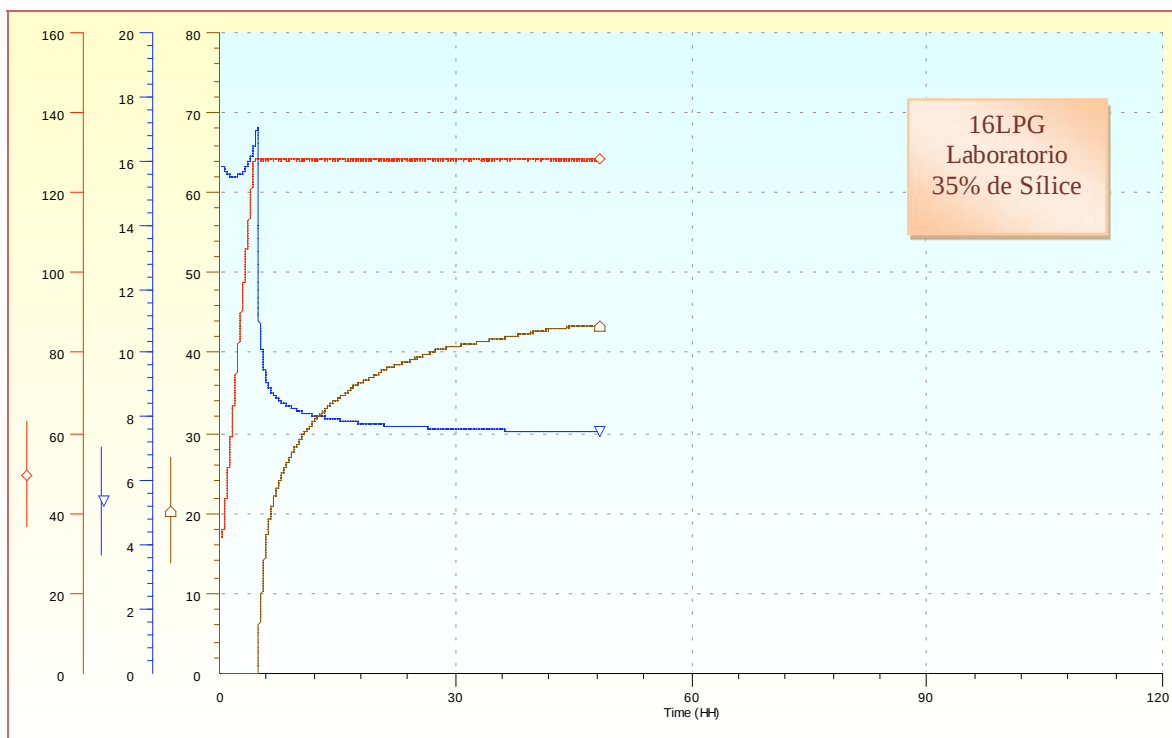


Gráfico 3: Ejemplo de medición de laboratorio de lechada de alta resistencia a 17 LPG (35% de sílice)

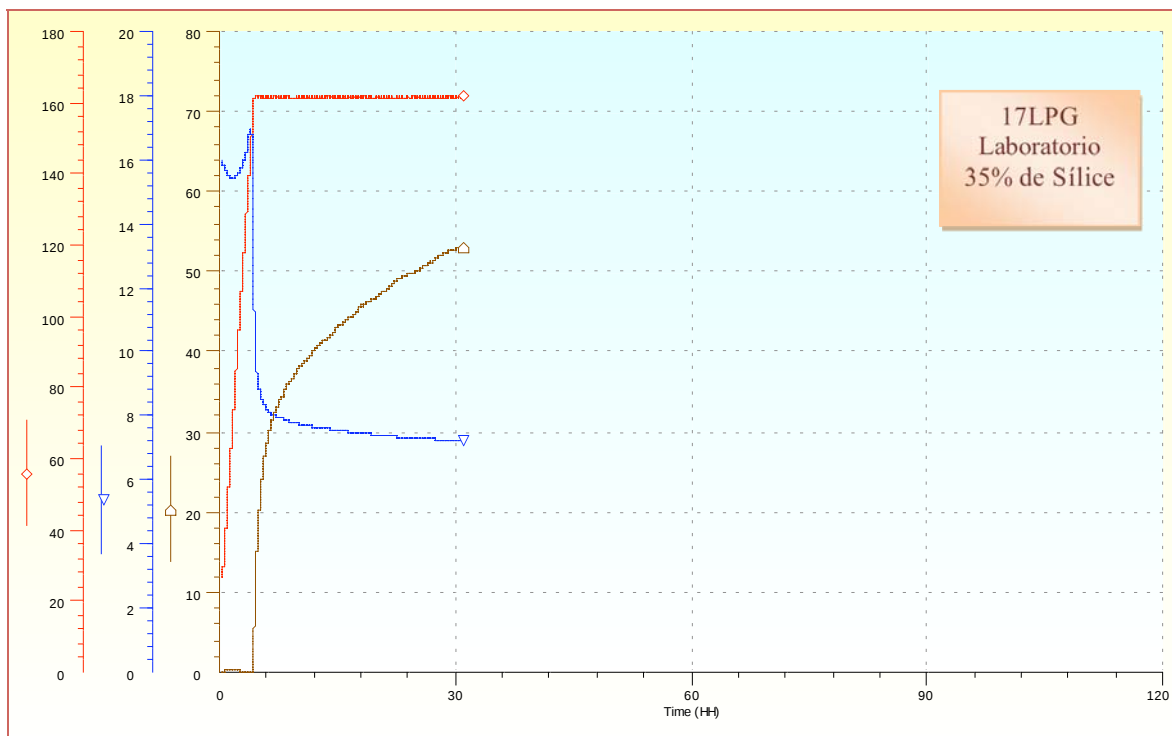


Gráfico 4: Medición de laboratorio con 0.2 de nanosílice a 16.8 LPG y 20% de sílice

Formulación: Cemento G+20% Silice+0.3% antimigratorio+0.15% retardador+0.2gps Pangea+0.01gps antiespumante

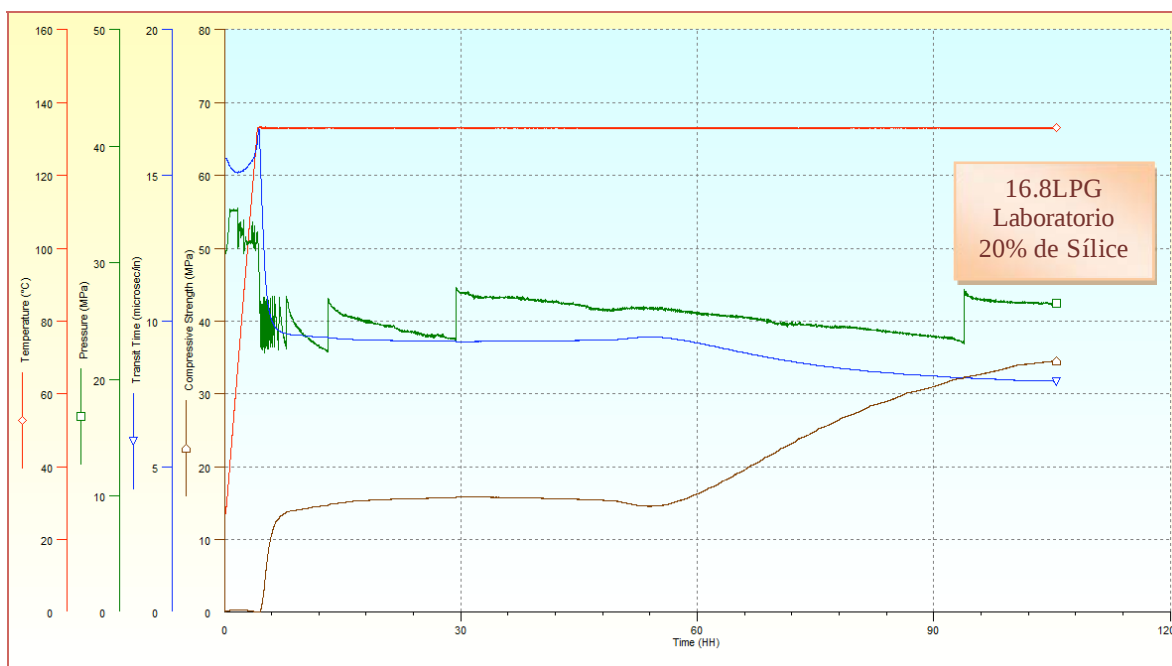


Gráfico 5: Medición de campo con 0.2 gps de nanosílice a 16.8 LPG y 20% de sílice

Formulación: Cemento G+20% Sílice+0.3% antimigratorio+0.15% retardador+0.2gps Pangea+0.01gps antiespumante

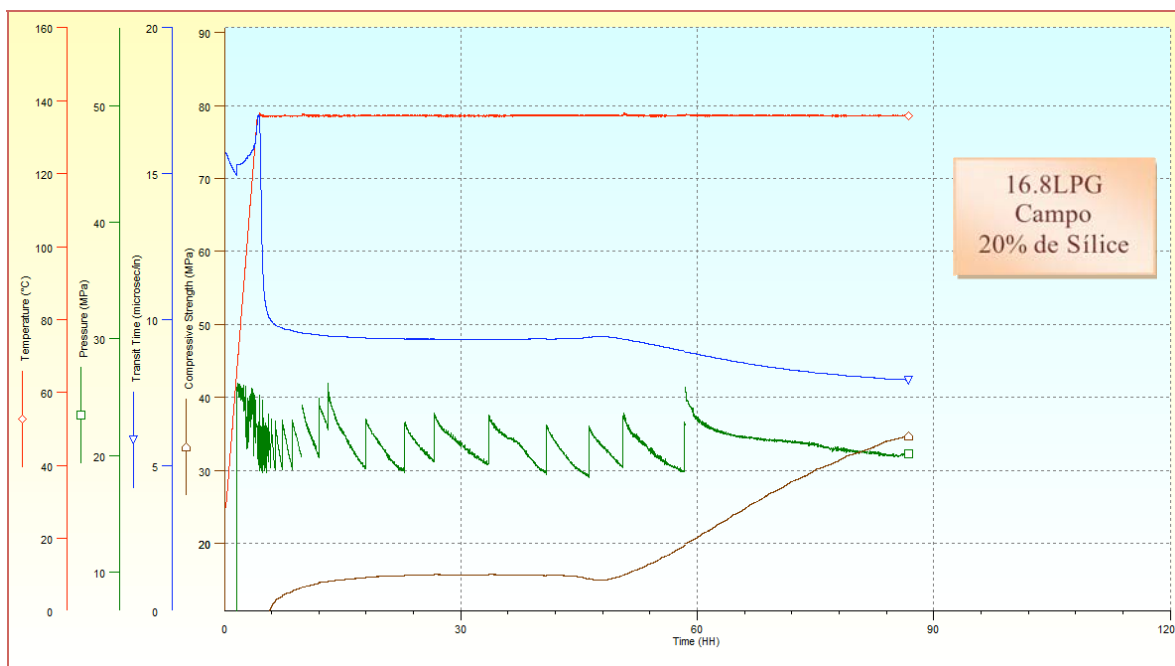
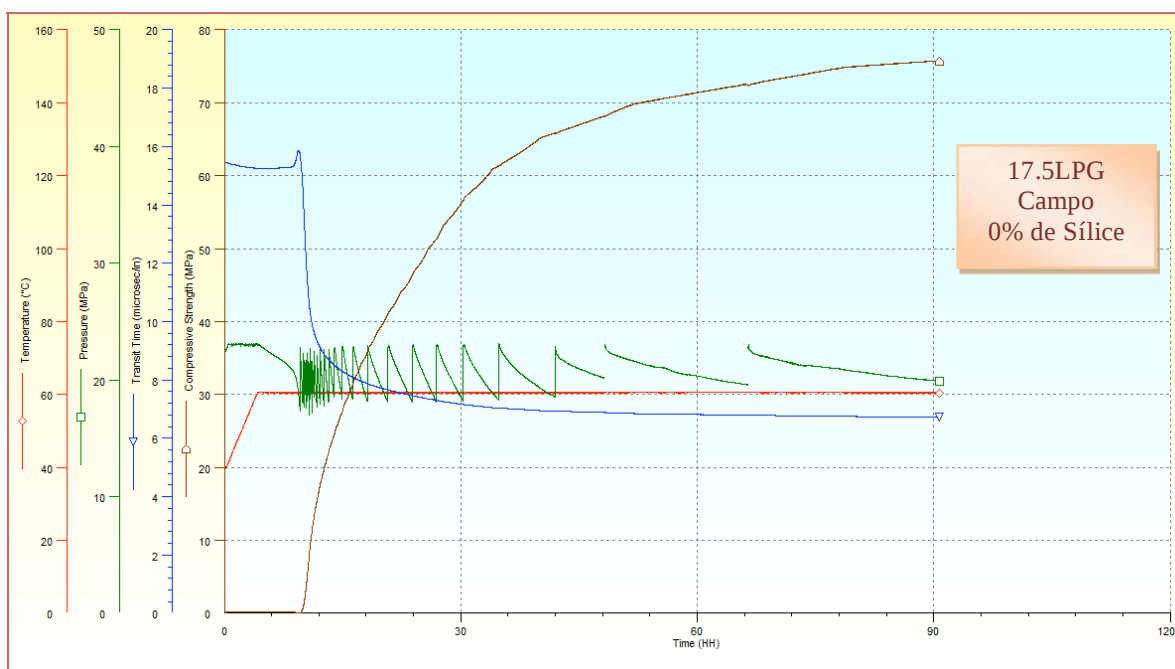


Gráfico 6: Medición de campo con 0.2 gps de nanosílice a 17.5 LPG y 0% de sílice

Formulación: Cemento B+0.2% antimigratorio+0.1% retardador+0.2gps Pangea+0.01gps antiespumante



Desarrollo. Segunda parte: Comparación de tiempos de fraguado:

Gráfico 7: Medición de laboratorio con 0.3 gps de nanosílice a 17.4 LPG y 20% de sílice

Formulación: Cemento G+20% Silice+0.15% antimigratorio+0.15% retardador+0.3gps Pangea+0.01gps antiespumante

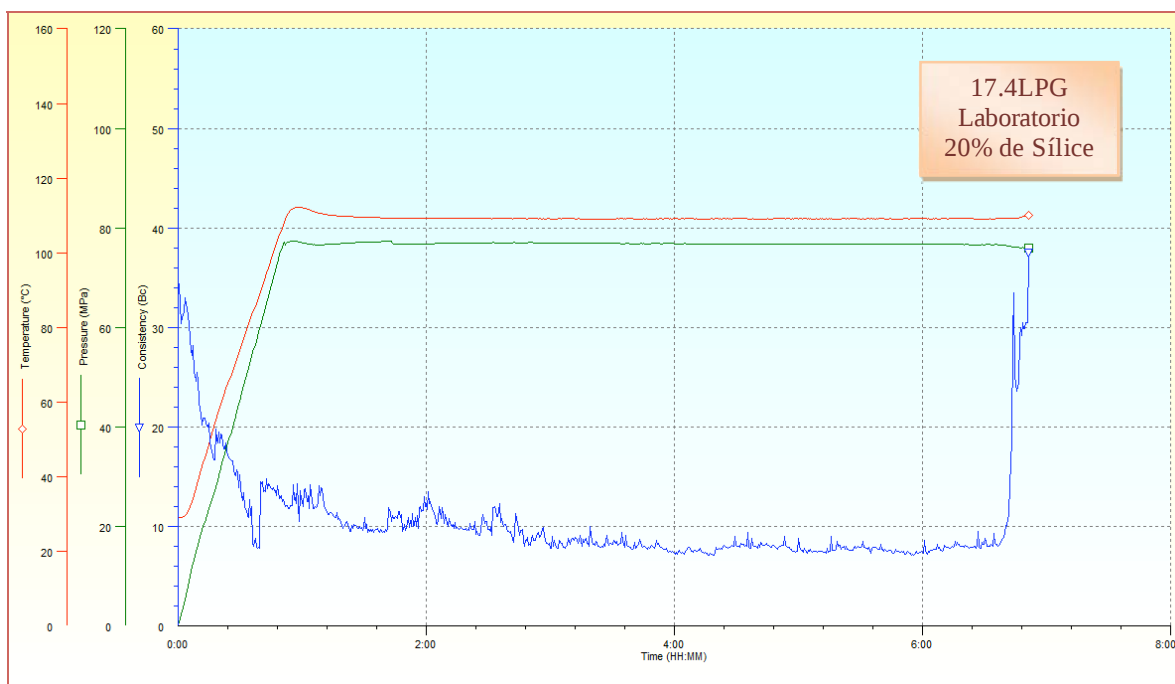


Gráfico 8: Medición de laboratorio con 0.2 gps de nanosílice a 16.8 LPG y 20% de sílice

Formulación: Cemento G+20% Silice+0.3% antimigratorio+0.15% retardador+0.2gps Pangea+0.01gps antiespumante

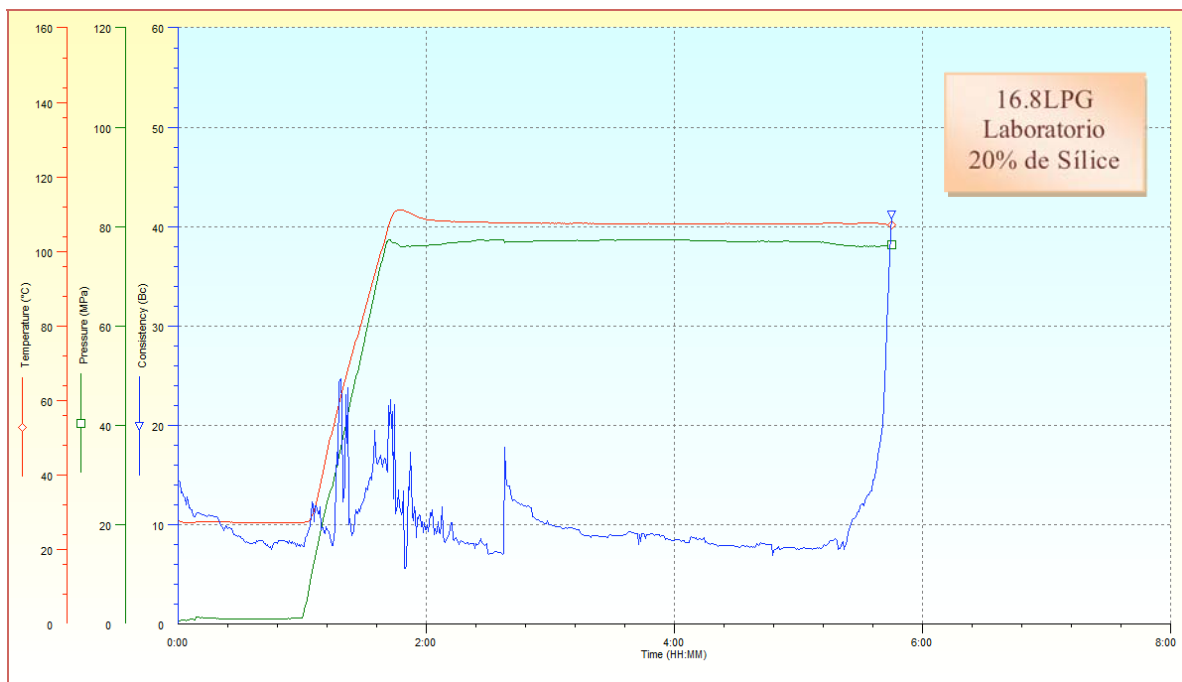
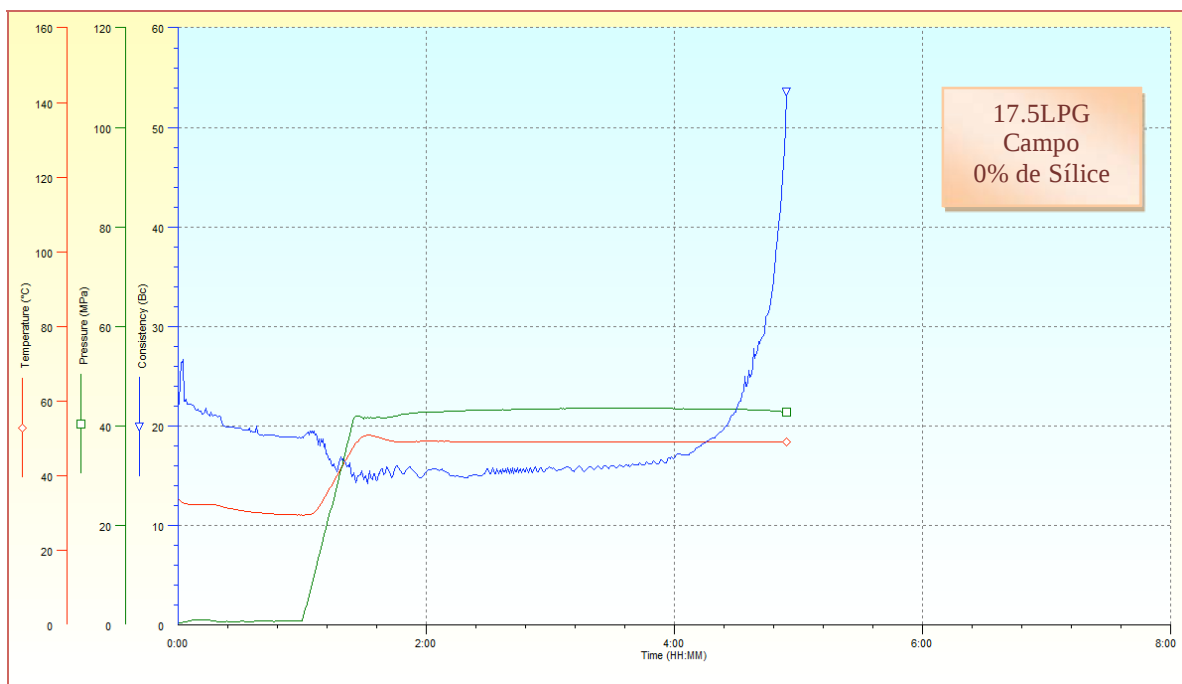


Gráfico 9: Medición de campo con 0.2 gps de nanosílice a 17.5 LPG y 0% de sílice

Formulación: Cemento B+0.2% antimigratorio+0.1% retardador+0.2gps Pangea+0.01gps antiespumante



Conclusiones

Es posible diseñar una nanosílice que permita alcanzar la flexibilidad, rigidez y homogeneidad en corto tiempo, y que en algunos casos reemplaza el 35% de la sílice.

Se observó que variaciones de 0.1 gps producen incrementos en la compresión y retardo de la lechada a distintas densidades.

Se observa el mismo comportamiento tanto en laboratorio como en campo.

La nanosílice diseñada presenta comportamientos que satisfacen los requerimientos de los operadores de cementación.

Las propiedades emergentes permitieron reducir el consumo de retardadores y antimigratorios y dispersantes.

Con cementos tipo G se observó que 0.2% de nanosílice reemplaza al 42% de la sílice requerida.

Con cemento tipo B 0.2% de nanosílice reemplaza al 100% de la sílice requerida.

La nanosílice diseñada, se denominó *Pangea*, por la remembranza observada en compactabilidad y fusión en un solo elemento de propiedades dadas por muchos aditivos, con los primeros tiempos de la tierra, cuando todos los continentes eran uno solo.

Hay muchos desarrollos posibles para hacer de nanotecnología aplicada a la cementación de pozos. Más promisorio aún que los resultados obtenidos con *Pangea*, debieran ser los resultados de un Nanocemento bien diseñado y bien formulado.

En el campo general del petróleo, la combinación de nano con picotecnología debiera incluso permitir en los próximos 5 años la perforación de un pozo de 2,500mts de profundidad en una sola etapa.

Es de esperarse que se vean estos desarrollos con el transcurrir del próximo tiempo.

Bibliografía

ⁱ How nanotechnology can change the concrete world, Part I. American Ceramic Society Bulletin. Vol. 84, n10. October 2005. Sobolev K, Ferrada Gutiérrez M.

ⁱⁱ How nanotechnology can change the concrete world, Part II. American Ceramic Society Bulletin. Vol. 84, n11. November 2005. Sobolev K, Ferrada Gutiérrez M.